

修正圧縮場理論を適用した RC 単柱のせん断挙動解析

学生氏名 依田 宏之
指導教員 吉川 弘道

1. はじめに

鉄筋コンクリート(以下, RC)柱部材の破壊形式は, せん断破壊と曲げ破壊の大きく二つに分類することができる. 特に RC 柱部材に外力が作用し, 突発的に斜めひび割れが発生・進展すると脆性的なせん断破壊となり, 極めて危険である. よって RC 柱部材の設計においては, せん断破壊を回避するため, せん断耐力が曲げ耐力を上回ることが望ましい. そこで, せん断破壊を未然に防ぐため, せん断耐力を適切に評価するための算出手法として Collins らにより提案された修正圧縮場理論¹⁾というせん断耐力式が挙げられる. 修正圧縮場理論は従来のトラス理論と異なり圧縮ストラット角度を 45° で一定と仮定する必要がなく, RC 部材のひび割れ発生以前から終局に至るまでのせん断耐荷挙動を正確に追従できる理論である. よって本論では, せん断挙動を明確に把握できる修正圧縮場理論を RC 単柱に適用し, 実験値との比較による検証を行った.

2. 修正圧縮場理論の基本的な考え方

Collins らによって提案された修正圧縮場理論(以下, MCFT)は, RC 部材に発生した斜めひび割れを離散的にとらえるのではなく, 斜めひび割れの発生している RC 要素の平均ひずみ・平均応力を考慮し, それらを一様な性質を持つ連続的な要素として捉える. その要素内での力の釣り合い条件, 変形の適合条件および構成則を導入することでせん断耐力を算出する理論である. MCFT では変形の適合条件を導入することで圧縮ストラット角度を仮定する必要がなくなり, ひび割れ発生以前から終局時に至るまでのせん断耐荷挙動を合理的に算出することが可能である.

3. MCFT を適用した数値シミュレーション

3.1 試験体諸元

柱断面を $800 \times 800(\text{mm})$, せん断スパン比 4.05 の試験体とした. 表-1 に試験体諸元を示す. また, 本論では終局点をせん断補強筋が降伏した時点と定義した.

表-1 試験体諸元

試験体	柱断面 (mm^2)	主鉄筋				せん断補強筋				コンクリート		
		径 ϕ	鉄筋比 (%)	降伏強度 (N/mm^2)	弾性係数 (kN/mm^2)	径 ϕ	ピッチ (mm)	鉄筋比 (%)	降伏強度 (N/mm^2)	弾性係数 (kN/mm^2)	圧縮強度 (N/mm^2)	引張強度 (N/mm^2)
No.1	800×800	D35	1.0	313	202	D13	30	1	351	185	25.9	2.01
No.2							60	0.5				
No.3							300	0.1				

3.2 せん断補強筋比による影響

図-1 に圧縮ストラット角度 θ とせん断耐力 V の関係を示す. 図において初期ひび割れ発生後著しく変化が見られた. $p_v=1.0(\%)$ では終局時に至るまでほぼ水平の挙動を示し, $p_v=0.5(\%)$ では緩やかな挙動から, 最大耐力点到達後に急激な変化を起こし, $p_v=0.1(\%)$ は初期ひび割れ発生後から急激に減少し, 終局に至った. V および θ は $p_v=1.0(\%)$ の場合が最大となり, $p_v=0.1(\%)$ の場合が最小の値を示し. 図-2 にせん断耐力 V とせん断補強筋負担分 V_s およびコンクリート負担分 V_c の関係を示す. 図において初期ひび割れ発生点はほぼ同定の値を示しているがその後, 最大耐力点に至るまでに著しい差が生じている. また, 最大耐力点から終局点に至るまでの挙動も $p_v=1.0(\%)$ と $p_v=0.1(\%)$ の場合では, V_s の増加分が著しく異なり, 終局時における V の値も離れている確認することができる. 以上より, θ と V および V と $V_c \cdot V_s$ の変化が顕著なことから, p_v は RC 単柱において敏感パラメータであるといえる.

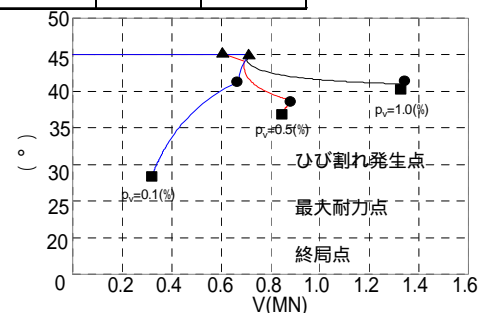


図-1 $\theta \sim V$ 関係図

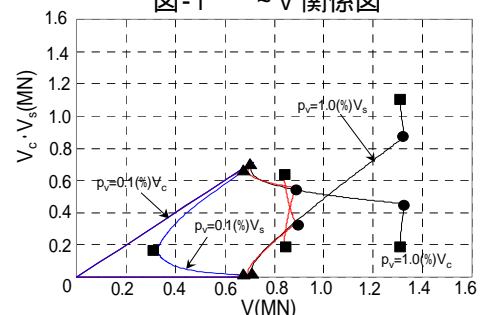


図-2 $V \sim V_c \cdot V_s$ 関係図

3.3 最大耐力時における比較

図 3 に最大耐力時の V と p_v の関係を示す。 p_v の増加に伴い V の値も上昇しており、 $p_v=0.1(\%)$ と $p_v=1.0(\%)$ では最大耐力時の値がおおよそ 2 倍程度も異なることが確認できる。また、付着係数 μ の比較では、 p_v が低いと V は $\mu = 1.0$ の時に低い値を示すが、 $p_v = 0.3(\%)$ 付近からは $\mu = 1.0$ の方が上回っている。図 4 に最大耐力時の $V_c \cdot V_s \sim p_v$ 図を示す。 V_s と V_c の挙動を比較すると、最大耐力時においては p_v が低いと V_s はほとんど作用しておらず、せん断耐力は V_c のみで受け持っているといえ、 p_v が増加するに伴い徐々に耐力が移行し、 $p_v=1.0(\%)$ では V_s の値が著しく V_c を上回っており V_s の負担量が大きくなるといえる。

4. MCFTを適用したせん断解析

4.1 試験体諸元²⁾

試験体諸元を表-2 に示す。試験体は柱断面 $320 \times 320\text{mm}$ 、せん断スパン長 1200mm とし、パラメータとして軸応力を $0, 3 (\text{N/mm}^2)$ の 2 パターンで変化させた。

表-2 試験体諸元

試験体	柱断面 (mm ²)	軸応力 (N/mm ²)	主鉄筋			せん断補強筋				コンクリート	
			径 φ	鉄筋比 (%)	降伏強度 (N/mm ²)	径 φ	ピッチ (mm)	鉄筋比 (%)	降伏強度 (N/mm ²)	圧縮強度 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)
S15-0-3	320×320	0	D13	2.5	386	D4	45	0.18	267	23.1	1.89
S15-3-3		3								23.5	1.90

4.2 MCFTと実験値との比較

MCFT と既往実験結果を用いて精度の評価とせん断挙動について検証した。また、その際に鉄道標準式³⁾(式(1))および弾性解⁴⁾(式(2))を比較対象として用いた。

$$V_{yd} = \left\{ (\beta_d \cdot \beta_p \cdot \beta_n \cdot f_{vcd} \cdot b_w \cdot d) + (A_w \cdot f_{wy} \cdot z \cdot \cot \theta / s_s) \right\} / \gamma_b \quad (1)$$

β_d : 有効高さによる効果の係数 β_p : 主鉄筋による効果の係数 f_{vcd} : せん断補強筋降伏強度
 β_n : 軸力による効果の係数 f_{vc} : コンクリートのせん断強度 s_s : せん断補強筋ピッチ間隔
 z : 圧縮ストラット角度 d : 断面有効高さ z : 1/1.15 とする。
 A_w : せん断補強筋総断面積 b_w : 断面幅 γ_b : 部材係数, 1.15 とする。

$$G = E_c / 2(1 + \nu) \quad (2)$$

G : せん断弾性係数 E_c : コンクリート弾性係数 ν : ポアソン比, 0.2 とする。

図-5 に S15-0-3, 図 6 に S15-3-3 のせん断耐力 とせん断ひずみの関係を示す。軸応力が働いていない S15-0-3 では曲げモーメントの影響が最も低い柱頂上部のはほとんど変化をしないが、軸応力 $3(\text{N/mm}^2)$ の S15-3-3 では基部および頂上部の立ち上がりの挙動が類似していることがわかる。また、曲げモーメントの影響を大きく受ける柱基部における V の伸びが著しく高いことも確認できた。弾性解の挙動との比較は、柱にかかる軸応力が高いほど両部位が近似した値を示した。また、 V の最大値における鉄道標準式との比較については、軸応力の変化による変動はほぼないと言え、MCFT の最大値のみが離れた値を示すことがわかった。

5.まとめ

- ・RC 単柱においてせん断補強筋比は敏感パラメータである事がわかった。
- ・実験結果の最大耐力は鉄道標準式と近似した値であり、MCFT とは離れることがわかった。

【参考文献】 1) MICHAEL P. COLLINS/DENIS MITCHELL: PRESTRESSED CONCRETE STRUCTURES, PRENTICE HALL INC, 1991
 2) 武蔵工業大学 コンクリート研究室: 平成 10 年度小型試験体による RC 柱の耐震実験 実験結果報告書
 3) 鉄道総合技術研究所: SI 単位版 鉄道構造物等設計標準・同解説 コンクリート構造物, 丸善株式会社, 1999, 10
 4) 吉川 弘道: 鉄筋コンクリートの設計, 丸善, 1997, 12

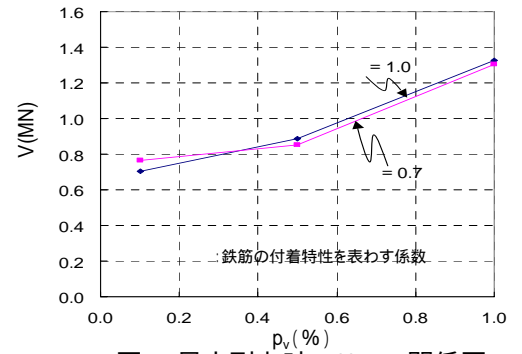


図-3 最大耐力時の $V \sim p_v$ 関係図

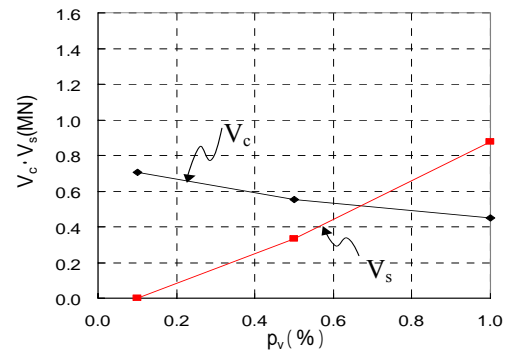


図-4 最大耐力時の $V_c \cdot V_s \sim p_v$ 関係図

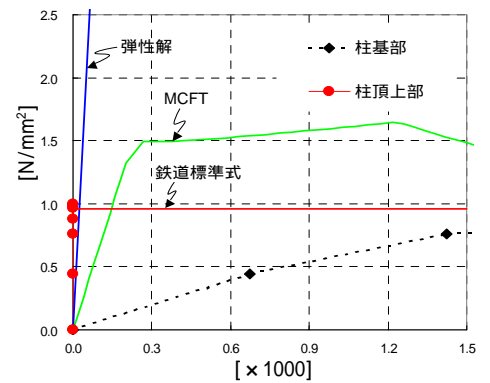


図-5 15-0-3 ~ 関係図

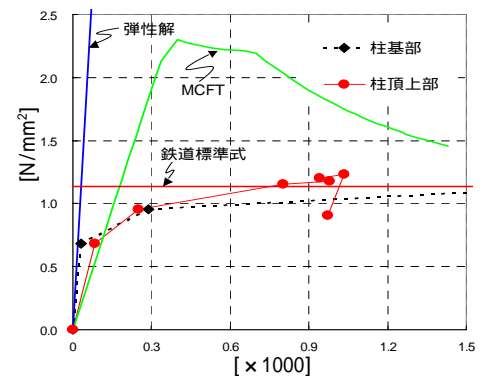


図-6 15-3-3 ~ 関係図